نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۳۹-۳۲۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 323-339

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثرات تاریخ کاشت بر شاخص‌های زراعی- اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی ارقام سیب‌زمینی

عبدالستار دارابی[۱*]، شهرام امیدواری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵

چکیده

شاخص‌های اقلیمی که پایه حرارتی دارند همانند درجه روز رشد و واحد هلیوترمال ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد محصولات می‌باشند. به‌منظور بررسی اثرات تاریخ کاشت بر شاخص‌های زراعی- اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی در کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان این تحقیق به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان اجرا گردید. عامل اصلی شامل چهار تاریخ کاشت از اول دی‌ماه تا اول بهمن‌ماه به فاصله ۱۰ روز و عامل فرعی سه رقم کوزیما، ساوالان و المرا بود. برای تامین رشد جوانه‌های غده‌ها بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت اول دی‌ماه مربوط بود و با به تعویق افتادن تاریخ کاشت، این شاخص‌ها کاهش یافت. مدت‌زمان مرحله رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه ۱۵ روز بود. در مرحله حجیم شدن غده بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه مربوط بود. در این پژوهش مرحله بلوغ مشاهده نشد. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد غده و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود. ولی اثر تاریخ کاشت بر کارایی تاثیر دما در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. حداکثر تاثیر تاریخ کاشت بر کارایی دما به اول بهمن‌ماه تعلق داشت. بیشترین عملکرد (۱۸/۳۱ تن در هکتار)، کارایی تاثیر دما (۱۲/۰۶ کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد) و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال (۱/۷۱ کیلوگرم در هکتار در ساعت درجه روز رشد) به رقم ساوالان اختصاص یافت. بر اساس نتایج این پژوهش برای کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان کاشت رقم ساوالان در اوایل بهمن‌ماه توصیه می‌شود. تاریخ کاشت مناسب برای ارقام کوزیما و المرا در طول دی‌ماه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حجیم شدن غده، درجه روز رشد، رشد جوانه، عملکرد، واحد هلیوترمال

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، به‌دلیل داشتن هیدروکربن‌های قابل‌هضم، پروتئین‌های حاوی لیزین که یک اسیدآمینه ضروری مهم بوده و غالباً در محصولاتی مانند غلات و سبزیجات وجود ندارد ارزش غذایی فراوانی دارد (Waglay *et al.*, 2014). این محصول به‌دلیل داشتن متابولیت‌های اولیه و ثانویه نقش مهمی در فرآیندهای متابولیکی انسان دارد (Friedman, 1997). اهمیت غذایی سیب‌زمینی تنها به دلیل انرژی‌زایی آن نبوده بلکه این محصول حاوی مقادیر قابل‌توجهی ویتامین‌های B_6 و C، فیبر و مواد معدنی همانند آهن، منیزیم، روی و مس می‌باشد (Kolassa, 1993). سیب‌زمینی ازنظر کارایی مصرف آب، عملکرد ماده خشک قابل‌مصرف، مقدار پروتئین و مواد معدنی در واحد سطح بر غلات، کلزا (*Brassica napus* L.) و کنجد (*Sesamum indica* L.) برتری دارد (Brich *et al.*, 2012).

شاخص‌های اقلیمی که پایه حرارتی دارند همانند درجه روز رشد (Growth degree days) و واحد هلیوترمال (Helio thermal units) ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد محصولات می‌باشند (Jones *et al.*, 2003). اساس درجه روز رشد بر این مبنا استوار است که زمان واقعی هر مرحله فنولوژیکی به‌طور خطی با محدوده درجه حرارت بین درجه حرارت پایه و درجه حرارت بهینه مرتبط می‌باشد. در همین راستا چندین پژوهش تاثیر دما را بر فنولوژی و عملکرد محصولات زراعی از قبیل ذرت (*Zea mays* L.) (Grijesh *et al.*, 2011)، گندم (*Triticum sativum* L.) (Amrawat *et al.*, 2013)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Mote *et al.*, 2015) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) (Darabi, 2017; Maji *et al.*, 2014) از طریق شاخص‌های حرارتی گزارش نموده‌اند. کارایی مصرف دما و نور در تجمع ماده خشک و عملکرد

۱- دانشیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
۲- استادیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: darabi6872@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i3.86298

کاربرد عملی دارند. کارایی تبدیل گرما و نور به ماده خشک به عوامل ژنتیکی، تاریخ کاشت و نوع محصول بستگی دارد (Rao *et al.*, 1999). بنابراین آگاهی از شاخص‌های حرارتی همانند واحد تجمع حرارتی (Heat summation unit) که در بیشتر منابع از آن به‌عنوان درجه روز رشد یاد شده است و همچنین سایر مشتقات ریاضی آن مانند واحد هلیوترمال و کارایی تاثیر دما و نور می‌توانند اصول پایه‌ای برای تعیین مراحل فنولوژی و تاریخ کاشت مناسب فراهم آورد. همه مراحل نموی را می‌توان بر اساس درجه روز رشد دقیق‌تر از تقویم زمانی پیش‌بینی نمود (Sreeniavas *et al.*, 2010). کارایی تاثیر دما (Heat use efficiency) نشان‌دهنده تولید مقدار ماده خشک به‌ازای هر واحد درجه روز رشد می‌باشد و مقداز آن بستگی به نوع محصول، ژنتیک گیاه، شرایط اقلیمی و تغذیه دارد (Sharma *et al.*, 2019; Devi *et al.*, 2019). دارابی (Darabi, 2017) مقدار این شاخص را برای کشت پاییزه سیب‌زمینی در خوزستان از ۱۵/۶۱ تا ۲۱/۷۳ گرم در مترمربع در درجه روز رشد گزارش نمود. کارایی مصرف حرارت در برنج بسته به تاریخ کاشت و رقم از ۰/۵۹۳ تا ۰/۴۴۸ گرم در متر مربع در درجه روز رشد متغیر بوده است (Sharma *et al.*, 2019).

مراحل رشد و نمو سیب‌زمینی را می‌توان به پنج مرحله تقسیم نمود: ۱- رشد و توسعه جوانه‌ها: این مرحله از زمان شروع رشد جوانه در چشم‌های غده شروع و به ظهور آن در سطح خاک ختم می‌شود. ۲- رشد سبزینه‌ای: این مرحله که در آن کلیه اندام‌های رویشی گیاه (برگ‌ها، انشعابات ساقه، ریشه‌ها و استولون) تشکیل می‌شود از زمان سبز شدن گیاه شروع شده و به شروع غده‌زایی ختم می‌شود. ۳- غده زایی: غده‌های اولیه در انتهای استولون‌ها تشکیل شده ولی هنوز شروع به حجیم شدن ننموده‌اند. این مرحله حدود دو هفته طول می کشد. ۴- حجیم شدن غده‌ها: در این مرحله سلول‌های تشکیل‌دهنده غده با تجمع آب، مواد غذایی و کربوهیدرات‌ها متورم می‌شوند. ۵- بلوغ یا رسیدن گیاه: شاخ و برگ گیاه شروع به زرد شدن نموده و برگ‌ها شروع به ریزش می‌کنند، به همین دلیل میزان فتوسنتز کاهش یافته و رشد غده‌ها کم می‌شود و نهایتاً اندام‌های هوایی می‌میرند (Darabi, 2017; Darabi and Eftekhari, 2014). سیب‌زمینی تولیدشده در مناطق معتدله کشور در پاییز و اوایل زمستان به مصرف رسیده و بعد از آن خلأ این محصول در بازار وجود دارد. با کشت زمستانه سیب زمینی در مناطق نیمه‌گرمسیری می توان به پر نمودن این خلأ اقدام نمود. یکی از مناطق نیمه گرمسیری مناسب برای کشت سیب‌زمینی استان خوزستان می‌باشد. زراعت این محصول در سال‌های اخیر مورد استقبال کشاورزان منطقه قرار گرفته، به گونه‌ای که سطح زیر کشت آن از ۳۴۷ هکتار در سال زراعی ۶۴-۱۳۶۳ هم‌اکنون به ۴۵۳۵ هکتار رسیده است (Anonymus, 2019).

با عنایت به لزوم مطالعات همه‌جانبه در مورد این محصول و با توجه به این‌که تاکنون گزارش‌های محدودی در ارتباط با مطالعه شاخص های زراعی- اقلیمی در مراحل فنولوژیکی ارقام سیب‌زمینی در مناطق نیمه‌گرمسیری منتشر شده است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات تاریخ کاشت بر شاخص‌های زراعی- اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژی سه رقم سیب‌زمینی کوزیما، ساوالان و المرا اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان با ۳۶َ : ۳۰ْ عرض شمالی و ۱۴َ: ۵۰ْ طول شرقی اجرا گردید. محل آزمایش دارای اقلیم گرم و نیمه‌خشک با ارتفاع ۳۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد. بعضی از عوامل هواشناسی در دوره رشد و نمو محصول در دو سال آزمایش در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. عامل اصلی شامل چهار تاریخ کاشت از اول دی‌ماه تا اول بهمن‌ماه به فاصله ۱۰ روز و عامل فرعی سه رقم کوزیما (دیررس)، ساوالان (نیمه‌زودرس) و المرا (نیمه‌زودرس) بود. با توجه به فواصل زمانی تاریخ‌های کاشت و پرهیز از اثرات احتمالی آن بر سن فیزیولوژیک غده‌ها، غده‌های موردنیاز برای هر تاریخ کاشت حدود ۳۷ روز قبل از کاشت از سردخانه (دمای ۴-۲ درجه سانتی‌گراد) خارج شدند. بعد از خروج از سردخانه، غده‌ها ابتدا در جعبه در تاریکی در دمای ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا نیش بزنند. سپس غده‌ها به مدت حدود یک ماه در معرض نور کافی و دمای ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، به‌طوری‌که در زمان کاشت، غده‌ها ازنظر سن فیزیولوژیک در شرایط سنی جوانه‌زنی معمولی، دارای ۵-۳ جوانه سبز ۱/۵-۱ سانتی‌متری بودند. مصرف کود بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۳) و توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب صورت گرفت و میزان آن عبارت بود از ۱۰۰کیلوگرم سوپر فسفات تریپل [$Ca(PO_4H_2)_2$] و ۱۰۰کیلوگرم سولفات پتاسیم (K_2SO_4) در هکتار که در هنگام تهیه زمین به‌طور یکنواخت پخش و با خاک مخلوط شدند. کود نیتروژن لازم نیز به میزان ۳۵۰ کیلوگرم اوره [$CO(NH_2)_2$] در هکتار، نصف آن قبل از کاشت و بقیه در هنگام خاک‌دهی پای بوته در اختیار گیاهان قرار گرفت (Malakouti and Tehrani, 1999). هر کرت آزمایشی به مساحت ۱۵ متر مربع شامل چهار خط کاشت به طول پنج متر بود. فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط ۲۵ سانتی‌متر منظور گردید.

هنگامی‌که قطر قسمت متورم انتهای استولون دو برابر قطر استولون گردید به‌عنوان زمان تشکیل غده تلقی شد (Ewing and Struik, 1992).

شاخص‌های زراعی اقلیمی با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شدند:

$$GDD = \Sigma n [(Tmax + Tmin)/ 2] – T_b \quad (۱)$$

GDD درجه روز رشد، n تعداد روزهای رشد، Tmax و Tmin به ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و Tb دمای پایه (هفت درجه سانتی‌گراد). دمای کمتر از هفت درجه‌سانتی‌گراد و بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، به‌ترتیب، هفت و ۳۰ درجه سانتی‌گراد محسوب شدند.

جدول ۱- برخی از عوامل هواشناسی ماهیانه در طول فصل رشد سیب‌زمینی در سال اول آزمایش

Table 1- Some of the monthly meteorological factors during the growth season of potato in the first year of experiment

Meteorological factors	عوامل هواشناسی	دی Dec.-Jan.	بهمن Jan.-Feb.	اسفند Feb.-Mar.	فروردین Mar.-Apr.	اردیبهشت Apr.-May
Mean temperature (˚C)	میانگین دما	12.92	12.25	16.61	21.78	29.27
Mean maximum temperature (˚C)	میانگین دمای حداکثر	19.62	17.32	22.76	30.26	37.77
Mean minimum temperature (˚C)	میانگین دمای حداقل	6.07	7.27	10.45	13.26	22.10
Absolute maximum temperature (˚C)	حداکثر مطلق دما	25	23	29	37	45
Absolute minimum temperature (˚C)	حداقل مطلق دما	1	2	7	1	16
Precipitation (mm)	بارندگی	32.80	129.30	71.90	3.80	0.70

جدول ۲- برخی از عوامل هواشناسی ماهیانه در طول فصل رشد سیب‌زمینی در سال دوم آزمایش

Table 2- Some of the monthly meteorological factors during the growth season of potato in the second year of experiment

Meteorological factors	عوامل هواشناسی	دی Dec.-Jan.	بهمن Jan.-Feb.	اسفند Feb.-Mar.	فروردین Mar.-Apr.	اردیبهشت Apr.-May
Mean temperature (˚C)	میانگین دما	13.15	11.95	14.55	20.30	32.85
Mean maximum temperature (˚C)	میانگین دمای حداکثر	19.15	17.90	21.20	28.60	37.70
Mean minimum temperature (˚C)	میانگین دمای حداقل	6.80	6.30	7.90	13.80	22
Absolute maximum temperature (˚C)	حداکثر مطلق دما	23.60	24.40	31	33.8	15.20
Absolute minimum temperature (˚C)	حداقل مطلق دما	2	-3.20	2.20	4.60	42.20
Precipitation (mm)	بارندگی	28.60	62.80	25.90	22.50	0

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو سال آزمایش

Table 3- Physical and chemical properties of soil in two years of experiment

Year	سال	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	pH	فسفر Available P (mg kg^{-1})	پتاسیم Available K (mg kg^{-1})	مواد آلی Organic Carbon (%)
2015-2016	۱۳۹۴-۹۵	Silty clay loam	2.3	7.8	8.9	279	0.70
2016-2017	۱۳۹۵-۹۶	Silty clay loam	2.2	7.7	7.9	269	0.80

$$HTU= GDD \times \text{Duration of sun shine hours} \quad (۲)$$

HTU واحد هلیو ترمال برحسب ساعات آفتابی در درجه روز رشد، GDD درجه روز رشد و Duration of sun shine hours طول مدت ساعات آفتابی.

$$HTUE=Yield /HTU \quad (۳)$$

HTUE کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال برحسب کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد، Yield عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار و GDD درجه روز رشد.

$$TUE=Yield/GDD \quad (۴)$$

TUE کارایی تاثیر دما برحسب کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد، Yield عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار و GDD درجه روز رشد (Worthington and Hutchinson, 2005; Grijesh *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2014; Maji *et al*., 2014).

یک هفته قبل از برداشت اندام‌های هوایی قطع و غده‌ها در دو تاریخ کاشت اول و ۱۱دی‌ماه در ۲۵ اردیبهشت‌ماه و در دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه در ۳۰ اردیبهشت‌ماه برداشت شدند.

در هنگام برداشت محصول دو خط وسط هر کرت، با حذف۵۰ سانتی‌متر از بالا و پایین هر خط به مساحت شش مترمربع برداشت گردیدند. در پایان هر سال به‌کمک نرم‌افزار MSTAT-C بر روی کلیه داده‌ها تجزیه واریانس ساده صورت گرفت. در پایان سال دوم تجزیه واریانس مرکب انجام و میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های حرارتی در مراحل فنولوژی رشد و توسعه جوانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود اثر تاریخ کاشت، اثـر رقـم و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر درجه روز رشـد، واحـد هلیوترمـال و مدت‌زمان این مرحله در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثـر سـال بـر درجه روز رشد در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار ولی بر مدت‌زمان مرحلـه رشد و توسعه جوانه‌ها و واحد هلیوترمـال معنـی‌دار نشـد (جـدول ۴).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها

Table 4- Results of combined variance analysis for duration of sprout development stage, growth degree days and helio thermal units in sprout development stage

Sources of variation	منابع تغییر	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات خطا Error mean square		
			مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها Duration of sprout development stage	درجه روز رشد GDD	واحد هلیو ترمال HTU
Year (Y)	سال	1	1.681^{ns}	4261.84*	840970.470**
Replication × Year	تکرار در سال	4	6.889	713.750	13528.531
Planting date (P)	تاریخ کاشت	3	1554.718**	44613.653**	1528578.997**
Y×P	سال × تاریخ کاشت	3	163.718**	10020.102**	257606.114**
Error	خطا	12	6.789	658.775	22516.883
Cultivar (c)	رقم	2	270.681**	15803.507**	573777.760**
Y×C	سال × رقم	2	60.181**	3433.816**	2235221.300**
P×C	تاریخ کاشت × رقم	6	31.829**	1592.323**	775502.448**
Y×P×C	سال × تاریخ کاشت× رقم	6	22.218*	1601.533**	44958.665*
Error	خطا	32	7.250	366.233	15904.601
CV (%)	ضریب تغییرات		5.6	7.6	10.1

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, * and **: Not significant and significant at 1% and 5% probability level respectively

در تاریخ کاشت اول دی‌ماه پایین بودن دما (جداول ۱ و ۲) سبب طولانی شدن این مرحله گردید و در نتیجه در میان چهار تاریخ کاشت، بیشترین درجه روز رشد به تاریخ کاشت اول دی‌ماه تعلق داشت (جدول ۵). در اوایل دی‌ماه متوسط دمای روزانه حتی با صفر فیزیولوژی سیب‌زمینی، هفت درجه سانتی‌گراد، (Worthington and Hutchinson, 2005) اختلاف قابل‌توجهی نداشت و علی‌رغم کاشت غده‌های جوانه‌دار، تعداد روز از کاشت تا سبز شدن در همه ارقام در تاریخ کاشت اول دی‌ماه بسیار طولانی بود. با به تعویق افتادن تاریخ کاشت به علت افزایش دما سرعت سبز شدن غده‌ها رشد (در تاریخ کاشت‌های ۱۱ و ۲۱ دی ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۱۶، ۳۴ و ۵۹٪ زودتر در مقایسه با تاریخ کشت اول دی‌ماه) افزایش و درنتیجه درجه روز رشد (در تاریخ کاشت‌های ۱۱ و ۲۱ دی ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۱۳، ۲۸ و ۶۷٪ کمتر در مقایسه با تاریخ کشت اول دی‌ماه) و واحد هلیوترمال (در تاریخ کاشت‌های ۱۱ و ۲۱ دی ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۱۹، ۳۲ و ۶۷٪ کمتر در مقایسه با تاریخ کشت اول دی‌ماه) کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین درجه روز رشد، واحد هلیوترمال و مدت این مرحله فنولوژیکی به تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه مربوط بود (جداول ۵ و ۶). مشابه با این نتایج ورتینگتون و هاتچین‌سان (Worthington and Hutchinson, 2005) نیز گزارش نمودند برای رشد جوانه‌ها در شش تاریخ کاشت، کاشت از ۲۴ دی‌ماه تا هفت فروردین‌ماه در فلوریدا با به تعویق افتادن تاریخ کاشت به‌دلیل افزایش دما درجه روز رشد مورد نیاز از۲۴۰ به ۱۷۸ واحد کاهش یافته است. دارابی (Darabi, 2017) گزارش نمود میانگین درجه روز رشد دریافت شده در پنج رقم سیب‌زمینی در کشت پاییزه این محصول در خوزستان ۲۱۳/۷۵ درجه روز رشد بود که از مقدار این شاخص در کلیه تاریخ‌های کاشت موردمطالعه در این پژوهش کمتر بود، ولی به‌دلیل بیشتر بودن دما و تعداد ساعات آفتابی در کشت پاییزه میانگین واحد هلیوترمال دریافت شده در پنج رقم موردمطالعه

(۲۸۳۵/۷۵ درجه روز رشد در ساعت) در این مرحله فنولوژیکی در مقایسه مقدار با مقدار این شاخص در همه تاریخ کاشت‌های موردمطالعه افزایش نشان داد (جدول ۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های مدت و درجه روز رشد در مراحل فنولوژی در تاریخ کاشت‌های موردمطالعه

Table 5- Means comparison of duration (days) and GDD (°C day) at phenological stages in studied planting dates

Planting date	تاریخ کاشت	رشد جوانه‌ها Sprout development		رشد سبزینه‌ای Vegetative growth		غده‌زایی Tuber initiation		حجیم شدن غده Tuber bulking		مجموع Total	
		درجه روز رشد GDD	مدت Duration	درجه روز رشد GDD	مدت Duration	درجه روز رشد GDD	مدت Duration	درجه روز رشد GDD	مدت Duration	درجه روز رشد GDD	مدت Duration
21 Dec.	اول دی	326.86a	58.79a	118.62a	15a	150.81b	15a	953.54c	55. 21a	1531.83	144
31 Dec.	یازده دی	285.59ab	50.83b	121.59a	15a	148.84b	15a	928.66c	53.47a	1484.68	134
10 Jan.	بیست و یک دی	235.33b	44.00c	118.29a	15a	185.33ab	15a	1031.91a	56.00a	1571.06	130
20 Jan.	اول بهمن	216.90b	37.06d	122.04a	15a	195.40a	15a	995.25b	52.94a	1529.59	120

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level.

ماجی و همکاران (Maji *et al.*, 2014) طی یک مطالعه دوساله در هندوستان درجه روز رشد مورد نیاز در مرحله رشد جوانه‌ها در پنج تاریخ کاشت از ۲۵ آبان تا ۲۳ آذر را از ۹۵/۲ تا ۱۴۹/۱ واحد گزارش نمودند. ابرین و همکاران (Obrien *et al*., 1988) در انگلستان درجه روز رشد دریافت شده در مرحله رشد جوانه‌ها را بسته به تاریخ کاشت بین ۱۴۸ تا ۲۸۵ واحد گزارش نمودند. بنابراین در این پژوهش درجه روز رشد دریافت شده در این مرحله فنولوژیکی از گزارش‌های محققان مزبور بیشتر بود. بایستی توجه نمود که در این بررسی، حتی در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه نیز فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده‌ها (جدول ۵) در مقایسه با کشت بهاره این محصول در مناطق معتدل کشور و زراعت پاییزه در مناطق نیمه‌گرمسیری طولانی‌تر می‌باشد (Parvizi *et al.*, 2011; Darabi, 2017). طولانی بودن فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده در کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان توسط دارابی و همکاران (Darabi *et al.*, 2018) نیز گزارش شده است. این نتایج با گزارش لوی و ویل‌لوکس (Levi and Veilleux, 2007) که مناسب‌ترین دما برای رشد جوانه‌ها در سیب‌زمینی ۱۸ درجه سانتی‌گراد است مطابقت دارد. بنابراین در این تحقیق پایین بودن دما در اوایل رشد و نمو محصول سبب طولانی شدت مدت‌زمان این مرحله و بالا بودن درجه روز رشد دریافتی توسط گیاه شده است. در رقم ساوالان درجه روز رشد (به‌ترتیب ۱۷ و ۱۳٪ در مقایسه با ارقام کوزیما و المرا)، واحد هلیوترمال (به‌ترتیب ۱۸ و ۱۷٪ در مقایسه با ارقام کوزیما و المرا) و مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها (به‌ترتیب ۱۴ و ۶٪ در مقایسه با ارقام کوزیما و المرا) در مقایسه با دو رقم دیگر کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۷).

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در ارقام موردمطالعه

Table 6- Means comparison of of duration, GDD, helio thermal units at phenological stages in studied planting dates

رقم Cultivar	رشد جوانه‌ها Sprout development			رشد سبزینه‌ای Vegetative growth			غده‌زایی Tuber initiation			حجیم شدن غده Tuber bulking		
	Duration	GDD	HTU	Duration	GDD	HTU	Duration	GDD	HTU	Duration	GDD	HTU
کوزیما Cozima	51.25a	288.19a	14882.35a	15a	125.13a	758.37a	15a	163.25a	1190.51a	50.50c	941.79c	7213.82c
ساوالان Savalan	44.25c	23.99c	1199.64b	15a	117.02b	732.67a	15a	149.62c	988.2b	57.88a	1021.18a	7903.53a
المرا Almera	47.21b	272.33b	1439.95a	15a	118.26b	738.52a	15a	154.68b	1175.57a	53.46b	969.25b	7439.00b

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ ٪ ندارند

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level .

یکسان نبودن روند تغییرات درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده توسط ارقام موردمطالعه در این چهار تاریخ کاشت سبب گردید اثر متقابل این دو عامل بر درجه روز رشد و واحد هلیوترمال و مدت مرحله رشد جوانه‌ها معنی‌دار شود ولی علی‌رغم این موضوع، کمترین مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در این مرحله فنولوژیکی در هر چهار تاریخ کاشت به رقم ساوالان تعلق

داشت (جدول ۸). بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که نیاز حرارتی این رقم در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی در مرحله رشد جوانه‌ها کمتر می‌باشد که با عنایت به پایین بودن دما در مراحل اولیه رشد و نمو در کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان عاملی مثبت برای ارزیابی این رقم محسوب می‌شود.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های واحد هلیوترمال در مراحل فنولوژی در تاریخ کاشت‌های موردمطالعه

Table 7- Means comparison of helio thermal units, HTU, at phenological stages in studied planting dates

Planting date	تاریخ کاشت	رشد جوانه‌ها Sprout development	رشد سبزینه‌ای Vegetative growth	غده‌زایی Tuber initiation	حجیم شدن غده Tuber bulking	مجموع Total
21 December	اول دی	1767.06a	731.42a	923.65b	7273.72c	10695.83
31 December	یازده دی	1423.18b	772.44a	1072.99ab	7218.86c	10487.47
10 January	بیست و یک دی	1198.96c	731.34a	1195.87a	7928.94a	11052.11
20 January	اول بهمن	1114.72c	773.19a	1279.62a	7653.18b	10800.71

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند

.Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level

رشد سبزینه‌ای

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود در این مرحله فنولوژیکی اثـر تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر درجه روز رشد و واحد هلیوترمال معنی‌دار نشد. اثر رقم بر درجه روز رشـد در سـطح احتمـال ۵٪ ولی بر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود. اثر سال بر این دو شـاخص در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۹).

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم

Table 8- Means comparison for duration of sprout development stage (days), growth degree days, GDD and helio thermal units at sprout development stage in interaction effect of planting date and cultivar

تاریخ کاشت Planting date	Cultivar	رقم	مدت مرحله رشد و توسعه جوانه‌ها Duration of sprout development stage	GDD	HTU
اول دی 21 December	Cozima	کوزیما	63.67a	354.15a	1873.70a
	Savalan	ساوالان	56.33b	237.90c	1552.08c
	Almera	المرا	56.33b	333.70ab	1875.40a
یازده دی 31 December	Cozima	کوزیما	57.00b	327.58b	1701.46b
	Savalan	ساوالان	47.00c	260.42de	1238.44de
	Almera	المرا	48.50c	268.77d	1329.55d
بیست و یک دی 10 January	Cozima	کوزیما	45.67c	242.13ef	1250.23de
	Savalan	ساوالان	41.00d	210.22gh	1031.67f
	Almera	المرا	45.50c	256.63def	1314.98d
اول بهمن 20 January	Cozima	کوزیما	38.67d	228.88fg	1127.93ef
	Savalan	ساوالان	34.00e	188.60h	976.37f
	Almera	المرا	38.50d	233.22fg	1239.87de

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level.

در سیب‌زمینی مدت‌زمان مرحله رشد سبزینه‌ای نقش بسیار مهمی در عملکرد این محصول دارد. هر چه مدت‌زمان این مرحله کوتاه‌تر باشد مرحله حجیم شدن غده طولانی‌تر شده و از طرف دیگر اندام‌های هوایی به‌عنوان یک منبع رقابت‌کننده برای جذب مواد غذایی با غده، بیش از اندازه رشد نخواهد کرد (Kazemi *et al.*, 2011). در کلیه تیمارهای آزمایشی ۱۵ بعد از خروج گیاهان غده مشاهده گردید، بنابراین مرحله رشد سبزینه‌ای در این پژوهش ۱۵ روز بود که منعکس‌کننده این مطلب است که تغییرات شرایط اقلیمی در مرحله رشد سبزینه‌ای در تاریخ‌های کاشت مورد ارزیابی، قابل توجه نبوده است (جدول ۵). مشابه با این نتایج دارابی (Darabi, 2017) نیز گزارش نمود که مدت‌زمان این مرحله در کشت پاییزه سیب‌زمینی در خوزستان ۱۵ روز می‌باشد. پرویزی و همکاران (Parvizi *et al.*, 2011) گزارش نمودند که در کشت بهاره

سیب‌زمینی در همدان مرحله رشد سبزینه‌ای حدود ۴۰ روز است، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود مرحله رشد سبزینه‌ای در کشت سیب‌زمینی در خوزستان در مقایسه با زراعت بهاره این محصول در همدان حدود ۲۵ روز کوتاه‌تر می‌باشد. حداکثر درجه روز رشد به رقم کوزیما اختصاص یافت (به‌ترتیب ۷ و ۶٪ بیشتر از ارقام ساوالان و المرا) و از نظر این شاخص اختلاف رقم کوزیما با دو رقم موردمطالعه دیگر معنی‌دار بود (جدول ۷). ارزیابی اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت نشان داد که حداکثر درجه روز رشد به رقم کوزیما در تاریخ کاشت ۱۱ دی‌ماه (۱۳۵/۰۳ واحد) و بیشترین واحد هلیوترمال به رقم المرا در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه (۱۸۶/۶۲ ساعت در درجه روز رشد) تعلق داشت (جدول ۱۰). با عنایت به مساوی بودن مدت‌زمان این مرحله در این بررسی، اختلاف بین شاخص‌های حرارتی مشاهده شده در برخی از تیمارها ناشی از اختلاف زمانی در شروع و خاتمه مرحله رشد سبزینه‌ای و درنتیجه اختلاف شرایط اقلیمی از قبیل دما، تعداد ساعات آفتابی و طول روز در این دوره‌های ۱۵روزه می‌باشد. ماجی و همکاران (Maji *et al*., 2014) گزارش نمودند مدت‌زمان رشد سبزینه‌ای از ۲۴ تا ۲۸ روز، درجه روز رشد از ۳۲۷/۹ تا ۳۹۷ واحد و واحد هلیوترمال از ۳۴۹۶/۱ تا ۴۱۸۰/۹ ساعت در درجه روز رشد متغیر بوده است. قرار گرفتن زود هنگام گیاهان در شرایط مناسب برای غده‌زایی، روز کوتاه و شب خنک، (Mihovilovich *et al*., 2009) سبب گردید که در این تحقیق مدت‌زمان رشد سبزینه‌ای و شاخص‌های درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به مقدار قابل‌توجهی در مقایسه با گزارش ماجی و همکاران (Maji *et al*., 2014) کمتر باشد.

غده‌زایی

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود در این مرحله اثر سال، اثر رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر رقم بر درجه روز رشد و واحد هلیو ترمال به‌ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۹). غده‌زایی در سیب‌زمینی مکانیسمی پیچیده بوده و سطوح هورمون‌های درون‌زاد و تعادل تنظیم‌کننده‌های رشد نقش اساسی در آن ایفا می‌کنند. سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد داخلی به نوبه خود تحت تأثیر شرایط آب و هوا، طول روز، دمای محیط و نیز شرایط رشد قرار دارند (Klienkopf *et al*., 2003). اگرچه غده‌زایی در سیب‌زمینی در یک دوره نسبتاً طولانی اتفاق می‌افتد، ولی با توجه به این‌که قسمت اعظم غده‌ها طی یک دوره ۱۵ روزه تشکیل می‌شوند معمولاً طول دوره غده‌زایی در سیب‌زمینی حدود ۱۵روز در نظر گرفته می‌شود (Kazemi *et al*., 2011). با به تعویق افتادن تاریخ کاشت، به‌دلیل این‌که این مرحله به‌خصوص در دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه دیرتر از دو تاریخ کاشت قبلی یعنی اول و ۱۱ دی‌ماه شروع گردید و در این فاصله زمانی، دمای هوا گرم‌تر شد، مقدار این دو شاخص افزایش یافت. حداکثر درجه روز رشد به تاریخ کاشت ۱۱ دی‌ماه و بیشترین واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه مربوط بود (جداول ۵ و ۶). درجه‌روز رشد در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه در مقایسه با تاریخ کاشت‌های اول و ۱۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۲۳، ۲۵ و ۱۲٪ افزایش یافت. واحد هلیوترمال در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه در مقایسه با تاریخ کاشت‌های اول، ۱۱ و ۲۱ دی‌ماه به‌ترتیب ۲۹، ۱۹ و ۷٪ افزایش نشان داد. بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به رقم کوزیما مربوط بود (جدول ۷). میزان افزایش درجه روز رشد در رقم کوزیما در مقایسه با ارقام ساوالان و المرا به‌ترتیب ۹ و ۶٪ بود. واحد هیلوترمال در رقم کوزیما در مقایسه با ارقام ساوالان و المر به‌ترتیب ۲۱ و ۱۲٪ بیشتر بود. مقایسه میانگین‌ها در اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت نشان داد که حداکثر درجه روز رشد به رقم المرا در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه (۱۶۸/۶۲ واحد) و بیشترین واحد هلیوترمال به رقم کوزیما در همین تاریخ کاشت (۱۳۶۷/۴۷ ساعت در درجه روز رشد) اختصاص یافت (جدول ۱۰). اگرچه مدت‌زمان مرحله رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در این پژوهش برابر بود ولی به دلیل افزایش دما و تعداد ساعات آفتابی در مرحله غده‌زایی در مقایسه با مرحله رشد سبزینه‌ای، دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله در مقایسه با مرحله رشد سبزینه‌ای افزایش قابل‌ملاحظه‌ای را نشان دادند (جداول ۵ و ۶).

حجیم شدن غده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال و تاریخ کاشت بر مدت زمان این مرحله فنولوژیکی معنی‌دار نبود. اثر رقم و اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر این صفت به‌ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. اثر تاریخ کاشت بر کارایی تاثیر دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد ولی اثر این عامل بر کارایی تاثیر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود. اثر رقم بر کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر کارایی تاثیر دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار ولی بر کارایی تاثیر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود (جدول ۱۱). سرعت و مدت حجیم شدن غده تعیین‌کننده عملکرد سیب‌زمینی می‌باشد ولی مدت حجیم شدن در مقایسه با سرعت حجیم شدن نقش مهم‌تری در تعیین عملکرد این محصول ایفا می‌کند. عوامل زراعی- اقلیمی مؤثر بر حجیم شدن غده شامل دمای آب‌وخاک، شدت نور، طول روز، رطوبت خاک و آب قابل‌استفاده است. شرایط اقلیمی بهینه برای حجیم شدن غده‌ها طول روزکوتاه، شدت نور بالا و میانگین دمای روزانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Mihovilovich *et al*., 2009). در این پژوهش مدت‌زمان مرحله حجیم شدن غده در تاریخ کاشت‌های اول، ۱۱ و ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۵۵/۲۱، ۵۳/۴۷، ۵۶/۰۰ و ۵۲/۹۴ روز بود و از لحاظ این صفت

اختلاف معنی‌داری بین تاریخ کاشت‌های موردمطالعه مشاهده نگردیـد (جدول ۵).

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مراحل رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی

Table 9- Results of combined variance analysis of growth degree days and helio thermal units in vegetative growth and tuber initiation stages

Sources of variation	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	رشد سبزینه‌ای Vegetativegrowth: درجه روز رشد GDD	رشد سبزینه‌ای Vegetativegrowth: واحد هلیوترمال HTU	غده‌زایی Tuber initiation: درجه روز رشد GDD	غده‌زایی Tuber initiation: واحد هلیوترمال HTU
			Error mean square میانگین مربعات خطا			
Year (Y)	سال	1	22511.041**	211535.033**	92865. 734**	43032.042**
Replication × Year	تکرار در سال	4	110.388	2248.761	173.865	74372.057
Planting date (P)	تاریخ کاشت	3	68.738ns	10303.542ns	11029.182**	413889.921*
Y×P	سال × تاریخ کاشت	3	531.565**	20555.311ns	337.391ns	558905.172**
Error	خطا	12	132.890	7117.528	102.935	84407.982
Cultivar (c)	رقم	2	458.064*	20111.510ns	11390.590**	3058905.172**
Y×C	سال × رقم	6	442.184*	97405.502**	413.153**	212494.630**
P×C	تاریخ کاشت × رقم	6	193.489ns	16106.302ns	239.240**	21755.795ns
Y×P×C	سال × تاریخ کاشت × رقم	6	37.117ns	19528.268ns	70.318ns	84000.833**
Error	خطا	32	128.377	8461.720	47.717	26451.294
CV (%)	ضریب تغییرات		9.5	11.9	12.1	17.1

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, * and **: Not significant and significant at 1% and 5% probability level respectively

مدت‌زمان مرحله حجیم شدن غده در این تحقیق در مقایسه با گزارش ماجی و همکاران (Maji *et al*., 2014)، از ۴۲ تا ۵۲ روز، طولانی‌تر ولی در مقایسه با گزارش لویلا ردریگیوز و همکاران (Loyla Rodriguoz *et al*., 2016)، ۶۳ روز و دارابی (Darabi, 2019)، ۸۸/۶۷ روز، کوتاه‌تر است. بین نتایج این پژوهش‌ها و گزارش برون (Brown, 2007) که مدت‌زمان این مرحله ممکن است تا ۹۰ روز ادامه یابد، هماهنگی وجود دارد. بیشترین مدت‌رمان مرحله حجیم شدن غده به رقم ساوالان مربوط بود. افزایش این صفت در رقم مربور در مقایسه با ارقام کوریما و المرا به‌ترتیب ۱۵ و ۸٪ و معنی‌دار بود (جدول ۷).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین‌های درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مراحل رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم

Table 10- Means comparison of growth degree days, GDD, and helio thermal units at vegetative growth and tuber initiation stages in interaction effect of planting date and cultivar

تاریخ کاشت Planting date	Cultivar	رقم	رشد سبزینه‌ای Vegetative growth: GDD	رشد سبزینه‌ای Vegetative growth: HTU	غده‌زایی Tuber initiation: GDD	غده‌زایی Tuber initiation: HTU
اول دی 21 December	Cozima	کوزیما	120.17b	786.29ab	161.73a	1022.62cd
	Savalan	ساوالان	120.23b	666.39bc	150.73b	745.68e
	Almera	المرا	115.47b	741.58abc	109.56d	1002.67d
یازده دی 31 December	Cozima	کوزیما	135.03b	821.58a	162.07a	1144.67bcd
	Savalan	ساوالان	112.03b	748.83abc	145.30bc	1004.75d
	Almera	المرا	114.48b	746.91abc	139.15c	1069.54cd
بیست و یک دی 10 January	Cozima	کوزیما	121.28ab	779.50abc	163.45a	1227.29abc
	Savalan	ساوالان	115.95b	762.32abc	151.30b	1030.74cd
	Almera	المرا	114.48b	652.19c	160.25a	1069.5cd
اول بهمن 20 January	Cozima	کوزیما	124.03ab	754.09abc	165.75a	1367.47a
	Savalan	ساوالان	116.63b	753.14abc	161.82a	1170.92a-d
	Almera	المرا	125.47ab	812.34a	168.62a	1300.48ab

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level.

جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله حجیم شدن غده‌ها

Table 11- Results of combined variance analysis for duration, growth degree days and helio thermal units in tuber bulking stage

Sources of variation	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات خطا Error mean square		
			مدت Duration	درجه روز رشد GDD	واحد هلیو ترمال HTU
Year (Y)	سال	1	22.222^{ns}	1823.077$^{n.s}$	2973661.075**
Replication × Year	تکرار در سال	4	15.727	1247.741	129941.907
Planting date (P)	تاریخ کاشت	3	18.148^{ns}	37483.276**	2018474.856**
Y×P	سال × تاریخ کاشت	3	71.556^{ns}	16057.467**	2428501.196**
Error	خطا	12	22.463	1420.476	64042.768
Cultivar (c)	رقم	4	330.597**	399006.709**	2968776.637**
Y×C	سال × رقم	4	59.764*	11896.944**	969845.749**
P×C	تاریخ کاشت × رقم	4	36.356*	4266.059**	219753.565**
Y×P×C	سال × تاریخ کاشت × رقم	12	15.487^{ns}	2141.653*	125046.402^{ns}
Error	خطا	32	13.757	809.3365^{ns}	59294.398
CV (%)	ضریب تغییرات		7.8	3.4	3.3

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, * and **: Not significant and significant at 1% and 5% probability level respectively

مقایسه میانگین‌ها در اثر متقابل تـاریخ کاشـت و رقـم مشـخص نمود حداکثر مدت زمان این مرحله به رقم ساوالان در تـاریخ کاشـت بیست و یکم دی‌ماه (۵۸ روز) تعلق داشته است (جدول ۱۲). بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به تاریخ کاشـت ۲۱ دی‌مـاه مربـوط بود و از لحاظ دو شاخص مزبور، اختلاف این تاریخ کاشت با سه تاریخ کاشت دیگر در سطح ۱٪ معنی‌دارشد (جداول ۴ و ۵). افـزایش درجـه روز رشد در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه در مقایسه با تـاریخ کاشـت‌هـای اول و ۱۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیـب ۱۰، ۱۱ و ۴٪ بـود. واحـد هلیوترمال در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه در مقایسه با تاریخ کاشت‌هـای اول و ۱۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۹، ۱۰ و ۴٪ افزایش نشـان داد. مقایسه شاخص‌های حرارتی در این مرحله نسبت به مراحل قبـل مشخص نمود که حداکثر این شاخص‌ها بـه دوره حجـیم شـدن غـده تعلق داشته است و مقدار این شاخص‌هـا در ایـن مرحلـه فنولـوژیکی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته اشت، به‌طوری‌که علی‌رغـم ایـن‌کـه مدت‌زمان دوره حجیم شدن غده در مقایسه با کـل دوره رشـد و نمـو گیاه بسته به تاریخ کاشت بین ۳۸ تا ۴۴ درصد متغیر بود ولـی میـزان درجه روز رشد دریافت شده در این مرحله نسبت به کـل دوره رشـد و نمو بین ۶۱/۵۲ تا ۶۶/۲۷ درصد متغیـر بـود (جـداول ۵ و ۶). اگرچـه اختلاف مدت مرحله حجیم شدن غده در کلیه تاریخ‌های کاشت معنی دار نبود ولی درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در دو تاریخ کاشـت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه در مقایسه با دو تاریخ کاشت اول و ۱۱ دی‌ماه به‌طور معنی‌دار افزایش نشان داد (جداول ۵ و ۶). علـت ایـن موضـوع اختلاف در تاریخ برداشت این تیمارها (برداشت غـده‌هـا در دو تـاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه در تاریخ ۲۵ اردیبهشت‌ماه و در دو تـاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه در تاریخ ۳۰ اردیبهشـت‌مـاه انجـام گرفت) و بالا بودن دما و تعداد ساعات آفتابی در ایـن دوره پـنج روزه می‌باشد.

مقایسه دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله فنولوژیکی در مقایسه با گزارش سایر محققین (Loyla (Rodriguoz *et al.*, 2016; Maji *et al.*, 2014 مشخص نمود که مقدار این دو شاخص حرارتی در این مطالعه به علت افزایش شدید دما در اردیبهشت‌ماه به‌طور قابل‌توجهی از گزارش این دو محقق بیشتر بوده است. هم‌چنین علی‌رغم این‌که مدت‌زمان این مرحله در مقایسه با دوره حجیم شدن غده‌ها در کشت پاییزه سیب‌زمینی کمتر بود (Darabi, 2019) ولی این دو شاخص در کلیه تاریخ کشت‌های مورد مطالعه به علت بالا بودن دما و تعداد ساعات آفتابی در مرحله حجیم شدن غده‌ها در مقایسه با کشت پاییزه افزایش نشان داد. در این مرحله درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در رقم ساوالان به‌طور معنی داری از دو رقم دیگر بیشتر بود (جدول ۷). افزایش درجه‌روز رشد در رقم ساوالان در مقایسه با ارقام کوزیما و المرا به‌ترتیب ۸ و ۵٪ بود. واحد هلیوترمال در رقم ساوالان نسبت به ارقام کوزیما و المرا به‌ترتیب ۹ و ۷٪ افزایش یافت. ارزیابی میانگین‌ها در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم مشخص نمود حداکثر درجه روز رشد (۱۰۶۷ واحد) و واحد هلیوترمال (۸۲۷۶ ساعت در درجه روز رشد) به رقم ساوالان در تاریخ کاشت ۲۱ دی ماه تعلق داشته است (جدول ۱۲).

جدول ۱۲- مقایسه میانگین‌های مدت، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در مرحله حجیم شدن غده در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم
Table 12- Means comparison of duration, growth degree days, GDD, and helio thermal units at tuber bulking stage in interaction effect of planting date and cultivar

تاریخ کاشت Planting date	Cultivar	رقم	مدت Duration	GDD	HTU
اول دی 21 December	Cozima	کوزیما	49e	914.88f	6892.53fg
	Savalan	ساوالان	56.33b	1011.70bc	7788.19bc
	Almera	المرا	52.50cde	934.05ef	7140.45ef
یازده دی 31 December	Cozima	کوزیما	49.17e	856.58g	6680.07g
	Savalan	ساوالان	56.17bc	971.92d	7584.84cd
	Almera	المرا	55.00bcd	957.47de	7391.68de
بیست و یک دی 10 January	Cozima	کوزیما	53.17b-e	1014.88bc	7779.20bc
	Savalan	ساوالان	58.00a	1067.35a	8276.59a
	Almera	المرا	53.50b-e	1013.60bc	7731.02bc
اول بهمن 20 January	Cozima	کوزیما	50.50b-e	980.82cd	7503.49cd
	Savalan	ساوالان	55.00bcd	1033.73b	7469.51b
	Almera	المرا	52.83cde	971.90d	7492.84cd

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.
Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level.

بلوغ

به‌دلیل بالا رفتن دما از اواسط اردیبهشت، برداشت سیب‌زمینی در خوزستان قبل از مرحله بلوغ و یا رسیدن گیاه انجام می‌شود، زیرا در صورت تأخیر در برداشت، به‌دلیل افزایش دما و افزایش گندیدگی غده ها و بروز عارضه رشد ثانویه از عملکرد قابل‌فروش کاسته خواهد شد (Darabi, 2007). بنابراین مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی در خوزستان فقط شامل چهار مرحله رشد جوانه‌ها، رشد سبزینه‌ای، غده‌زایی و حجیم شدن غده می‌باشد. عدم مشاهده مرحله بلوغ در سیب‌زمینی در سایر مناطق گرمسیری نیز گزارش شده است (Darabi, 2019).

عملکرد، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود اثر سال بر عملکرد غده معنی‌دار نبود ولی اثر این عامل بر کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. اثر تاریخ کاشت بر کارایی تاثیر واحد هلیوترمال و عملکرد غده معنی‌دار نبود ولی اثر این عامل بر کارایی تاثیر دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. اثر رقم بر عملکرد غده، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد غده و کارایی تاثیر دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد ولی اثر متقابل دو این عامل بر کارایی تاثیر واحد هلیوترمال معنی‌دار نبود (جدول ۱۳). حداکثر کارایی تاثیر دما به تاریخ کاشت اول بهمن تعلق داشت. افزایش این شاخص در تاریخ کاشت مزبور در مقایسه با سه تاریخ کاشت دیگر معنی‌دار بود (جدول ۱۴). کارایی تاثیر دما در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه در مقایسه با سه تاریخ کاشت اول، ۱۱ و ۲۱ دی ماه به‌ترتیب ۱۰/۹۶، ۱۰/۸۱ و ۱۴/۵۷٪ بیشتر بود (جدول ۱۴). کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در چهار تاریخ کاشت اول، ۱۱ و ۲۱ دی ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۱/۵۵، ۱/۵۸، ۱/۴۶ و ۱/۶۶ کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد بود و از تظر این صفت اختلاف بین این تاریخ کاشت‌های معنی‌دار نبود. عملکرد در چهار تاریخ کاشت اول، ۱۱ و ۲۱ دی ماه و اول بهمن‌ماه به‌ترتیب ۱۶/۷۷، ۱۶/۳۳، ۱۶/۰۱ و ۱۷/۸۸ تن در هکتار بود و این اختلاف‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱۴). بیشترین عملکرد (۱۸/۳۱ تن در هکتار)، کارایی تاثیر دما (۱۲/۰۶ کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد) و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال (۱/۷۱ کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد) به رقم ساوالان تعلق داشت و ازنظر این صفات، اختلاف معنی‌داری بین این رقم و رقم کوزیما مشاهده نشد (جدول ۱۵). عملکرد رقم ساوالان در مقایسه با ارقام کوزیما و المرا به‌ترتیب ۲ و ۳۲٪ بیشتر بود. کارایی تاثیر دما در رقم ساوالان نسبت به ارقام کوزیما و المرا به‌ترتیب ۹ و ۳۲٪ افزایش یافت. کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در رقم ساوالان نسبت به ارقام کوزیما و المرا به‌ترتیب ۱ و ۳۳٪ افزایش نشان داد. مقایسه میانگین‌ها در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم مشخص نمود بیشترین عملکرد (۲۱/۵۶ تن در هکتار)، کارایی تاثیر دما (۱۴/۳۹ کیلوگرم در هکتار در درجه روز رشد) و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال (۱/۹۹ کیلوگرم در هکتار در ساعت در درجه روز رشد) به رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن اختصاص یافت و ازنظر این صفات برتری این تیمار بر سایر تیمارها معنی‌دار بود (جدول ۱۶). ارزیابی درجه روز رشد در دوره رشد و نمو محصول مشخص نمود که اگرچه در تاریخ کاشت‌های مورد بررسی اختلاف مجموع درجه روز رشد دریافت شده (از ۱۴۱۴/۲۲ تا ۱۵۷۰/۹۲ واحد) قابل‌ملاحظه نبود ولی روند تغییرات

درجه روز رشد در مراحل مختلف فنولوژیکی در تاریخ کاشت‌های موردمطالعه یکسان نبود. درجه روز رشد دریافت شده در دو تاریخ کاشت اول و ۱۱ دی‌ماه در مرحله رشد جوانه‌ها، که بر عملکرد محصول تاثیری ندارد، نسبت به دو تاریخ کاشت بیست و یکم دی‌ماه و اول بهمن‌ماه افزایش نشان داد (اگرچه این افزایش در تاریخ کاشت ۱۱ دی‌ماه نسبت به دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه معنی‌دار نبود)، از طرف دیگر در دو تاریخ کاشت بیشت و یکم دی‌ماه و اول بهمن‌ماه در مرحله حجیم شدن غده واحد حرارتی دریافت شده (که می‌تواند سبب افزایش عملکرد شود) در مقایسه با دو تاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). ولی بااین‌حال، اختلاف معنی‌داری بین عملکرد غده در تاریخ‌های مختلف کاشت ملاحظه نشد (جدول ۸) که این موضوع بیانگر این مطلب است که افزایش حرارت دریافت شده در دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه نسبت به تاریخ کاشت‌های اول و یازدهم دی‌ماه تاثیری در عملکرد غده نداشته است. علت این موضوع را می‌توان چنین توجیه نمود که افزایش درجه روز رشد دریافت شده در این دو تاریخ کاشت نسبت به دو تاریخ کاشت اول و ۱۱ دی‌ماه عمدتاً ناشی از اختلاف زمان برداشت، تاریخ کاشت‌های مطالعه شده می‌باشد (تاریخ برداشت در دو تاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه، ۲۵ اردیبهشت و دو تاریخ کاشت ۲۱ دی و اول بهمن‌ماه ۳۰ اردیبهشت بوده است).

جدول ۱۳- نتایج تجزیه واریانس عملکرد، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال

Table 13- Results of combined variance analysis for yield, heat use efficiency and helio thermal units use efficiency

Sources of variation	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات خطا Error mean square		
			عملکرد Yield	کارایی تاثیر دما Heat use efficiency	کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال Helio thermal unit use efficiency
Year (Y)	سال	1	221.271^{ns}	58.518**	1.764**
Replication × Year	تکرار در سال	4	6.097	2.620	0.056
Planting date (P)	ناریخ کاشت	3	10.684^{ns}	7.149*	0.115^{ns}
Y×P	سال × تاریخ کاشت	3	16.699*	8.434**	0.125*
Error	خطا	12	3.234	1.387	0.033
Cultivar (c)	رقم	2	146.425**	64.223**	1.319**
Y×C	سال × رقم	2	6.281^{ns}	3.215^{ns}	0. 067^{ns}
P×C	تاریخ کاشت × رقم	6	13.028*	5.685*	0.100^{ns}
Y×P×C	سال × تاریخ کاشت × رقم	32	18. 448**	7.690*	0.154*
Error	خطا	64	5.200	2. 232	0.064
CV (%)	ضریب تغییرات		14.2	12.2	12.7

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, * and **: Not significant and significant at 1% and 5% probability level respectively

مطالعه عوامل هواشناسی در دوره حجیم شدن غده مشخص نمود از اواسط اردیبهشت‌ماه میانگین دمای روزانه از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بود، از طرف دیگر بر اساس گزارش لوی و ویل لوکس (Levi and Veilleux, 2007) در دمای۳۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر تولید خالص آسیمیلات‌ها به‌شدت کاهش خواهد یافت. بالا بودن دما رشد اندام‌های هوایی را تحریک می‌کند و بنابراین در چنین شرایطی به‌جای انتقال مواد حاصل از فتوسنتز به غده، این مواد به اندام‌های سبز منتقل شده و صرف رشد شاخ و برگ و نیز تنفس گیاه می‌شود و درنتیجه رشد غده و عملکرد افزایش قابل‌توجهی نخواهد داشت (Kazemi *et al.*, 2011). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود در این پژوهش در فاصله زمانی بین ۲۵ تا۳۰ اردیبهشت‌ماه به دلیل بالا بودن دما رشد غده متوقف و یا به میزان کمی افزایش یافته است و به همین دلیل عملکرد دو تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه و اول بهمن‌ماه علی رغم دریافت حرارت بیشتر در مقایسه با دو تاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه اختلاف معنی‌داری نداشت. ارزیابی شاخص‌های حرارتی در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نشان داد که در رقم ساوالان، هرچند درجه روز رشد و واحد هلیوترمال دریافت شده در تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه نسبت به تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱۲) ولی علی‌رغم این موضوع، عملکرد این رقم در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه از ۲۱ دی‌ماه به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۱۶). عملکرد این رقم در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه نه تنها نسبت به تاریخ کاشت ۲۱ دی‌ماه، بلکه نسبت به دو تاریخ کاشت اول و یازدهم دی‌ماه نیز افزایش قابل ملاحظه و معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱۶). دلیل بالا بودن عملکرد رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن ماه را می‌توان چنین توجیه نمود که به علت افزایش دما در نیمه دوم بهمن‌ماه، شرایط دمایی نسبتاً مساعدی برای توسعه جوانه‌ها و سبز

شدن گیاه فراهم گردید، به همین دلیل فاصله زمانی بین کاشت غده و سبز شدن گیاه در رقم ساوالان در این تاریخ کاشت در مقایسه با سایر تاریخ کاشت‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۸). از طرف دیگر، بررسی آمار هواشناسی نشان داد که در تاریخ کاشت اول بهمن گیاهان در رقم ساوالان در دو مرحله فنولوژیکی دیگر یعنی رشد رویشی و غده‌زایی نیز با دمای مطلوبی (میانگین دمای دوساله هوا در مرحله رشد رویشی و غده زایی به‌ترتیب ۱۵/۸ و ۱۷/۸ سانتی‌گراد) مواجه شدند (Levy and Veilleux, 2007). علاوه بر این موارد، گیاهان در مرحله حجیم شدن غده با بیماری لکه موجی مواجه شدند و علی‌رغم مبارزه با این بیماری به گیاهان در تاریخ کاشت اول بهمن ماه، به دلیل جوان بودن، نسبت به گیاهان در سه تاریخ کاشت دیگر، خسارت کمتری وارد شد. مجموع این عوامل سبب گردید که رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه بیشترین عملکرد را تولید نماید (جدول ۱۶). اگرچه در این آزمایش حداکثر عملکرد به رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن اختصاص یافت ولی بایستی توجه نمود که عملکرد این تیمار در مقایسه با کشت بهاره این محصول در مناطق معتدل کشور به مقدار قابل‌توجهی پایین‌تر بود که (Hassanpanah *et al.*, 2009; Parvizi *et al.*, 2011) تأییدکننده گزارش لامبرت و همکاران (Lambert *et al.*, 2006) مبنی بر پایین بودن عملکرد سیب‌زمینی در مناطق گرمسیری می‌باشد. یکی از دلایل مهم پایین بودن عملکرد سیب‌زمینی در مناطق گرمسیری، بالا بودن دما در مرحله حجیم شدن غده می باشدکه از طریق کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس، کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به غده‌ها و افزایش میزان انتقال آنها به بخش‌های دیگر گیاه و کاهش رشد غده سبب کاهش عملکرد سیب‌زمینی در این مناطق می‌شود (Van Dam *et al.*, 2008). هرچند میزان کل درجه روز رشد دریافت شده و هم‌چنین واحد هلیوترمال در این پژوهش (جداول ۵ و ۶) در مقایسه با نتایج گزارش شده توسط ماجی و همکاران (۲۰۱۴) اختلاف قابل‌توجهی نداشت ولی محدوده کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال در این آزمایش (جدول ۱۴) در مقایسه با گزارش ماجی و همکاران (۲۰۱۴)، پایین‌تر بود. که علت آن را می‌توان به مواجه‌شدن گیاه با شرایط اقلیمی نامساعد ازقبیل پایین بودن دما در مرحله رشد جوانه‌ها و بالا بودن دما در مرحله جحیم‌شدن غده‌ها (به‌خصوص از اواسط اردیبهشت‌ماه) که منجر به دریافت واحد حرارتی زیاده و غیرموثر در این پژوهش شده است، نسبت داد. پایین بودن کارایی کارایی تاثیر دما به دلیل بالا بودن دما در مرحله حجیم شدن غده‌ها توسط ورتینگتون و هات‌چین‌سون (Worthington and Hutchinson, 2005) نیز گزارش شده است.

جدول ۱۴- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در تاریخ کاشت‌های موردمطالعه

Table 14- Means comparison of yield, heat use efficiency (kg ha^{-1} °C day^{-1}) and helio thermal units use efficiency (kg ha^{-1} °C day^{-1} hr^{-1}) in studied planting date

Planting date	تاریخ کاشت	عملکرد Yield (t.ha^{-1})	کارایی تاثیر دما Heat use efficiency (kg.ha^{-1} °C day^{-1})	کارایی تاثیر واحد هلیوترمال Helio thermal units use efficiency (kg.ha^{-1} °C day^{-1} hr^{-1})
21 December	اول دی	16.77a	10.83b	1.55a
31 December	یازده دی	16.33a	10.98b	1.58a
10 January	بیست و یک دی	16.01a	10.36b	1.46a
20 January	اول بهمن	17.78a	11.87a	1.66a

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probablity level.

جدول۱۵- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیرواحد هلیو ترمال در ارقام موردمطالعه

Table 15- Means comparison of yield, heat use efficiency and helio thermal units use efficiency in studied cultivars

Cultivar	رقم	عملکرد Yield (t.ha^{-1})	کارایی تاثیر دما Heat use efficiency (kg.ha^{-1} °C day^{-1})	کارایی تاثیر واحد هلیوترمال Helio thermal units use efficiency (kg.ha^{-1} °C day^{-1} hr^{-1})
Cozima	کوزیما	17.98a	11.83a	1.69a
Savalan	ساوالان	18.31a	12.06a	1.71a
Almera	المرا	13.88b	9.12b	1.29b

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probablity level.

جدول ۱۶- مقایسه میانگین‌های عملکرد، کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیوترمال در اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم

Table 16- Means comparison of yield, heat use efficiency and helio thermal units use efficiency in interaction effect of planting date and cultivar

تاریخ کاشت Planting date	Cultivar	رقم	عملکرد Yield (t ha^{-1})	کارایی مصرف حرارت Heat use efficiency (kg.ha^{-1} °C day^{-1})	کارایی مصرف واحد هلیوترمال Helio thermal units use efficiency (kg.ha^{-1} °C day^{-1} hr^{-1})
اول دی 21 December	Cozima	کوزیما	17.31bcd	11.19bcd	1.60bc
	Savalan	ساوالان	18.03bc	11.67b	1.67b
	Almera	المرا	14.98def	9.62cde	1.38cde
یازده دی 31 December	Cozima	کوزیما	18.03bc	12.13b	1.74ab
	Savalan	ساوالان	17.11bcd	11.50bc	1.66b
	Almera	المرا	13.85efg	9.30de	1.34cde
بیست و یک دی 10 January	Cozima	کوزیما	18.66b	12.08b	1.71b
	Savalan	ساوالان	16.55b-e	10.70bcd	1.51bcd
	Almera	المرا	12.83fg	8.31.e	1.17e
اول بهمن 20 January	Cozima	کوزیما	17.92bc	11.95b	1.70b
	Savalan	ساوالان	21.56a	14.39a	1.99a
	Almera	المرا	13.87efg	9.27de	1.28de

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% of probablity leve.l

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که به علت پایین بودن دما در کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان مرحله رشد جوانه‌ها طولانی می‌باشد. در مرحله رشد جوانه‌ها بیشترین درجه روز رشد و واحد هلیوترمال به تاریخ کاشت اول دی‌ماه مربوط بود و با به تعویق افتادن تاریخ کاشت، این شاخص‌ها کاهش یافت. قرار گرفتن زود هنگام گیاهان در شرایط مناسب برای غده‌رایی، روز کوتاه و شب خنک، علت کوتاه بودن مرحله رشد سبزینه‌ای در این پژوهش بود. اگرچه مدت زمان مرحله رشد سبزینه‌ای و غده‌زایی در این تحقیق برابر بود ولی به دلیل افزایش دما و تعداد ساعات آفتابی در مرحله غده‌زایی در مقایسه با مرحله رشد سبزینه‌ای، دو شاخص درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله در مقایسه با مرحله رشد سبزینه‌ای افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند. در کلیه تاریخ کاشت‌های موردمطالعه به‌دلیل افزایش دما و طول مدت ساعات آفتابی در مرحله حجیم شدن غده، درجه روز رشد و واحد هلیوترمال در این مرحله از سایر مراحل بیشتر بود. به علت بالارفتن دما از اواسط اردیبهشت ماه، برداشت سیب‌زمینی قبل از مرحله بلوغ و رسیدن گیاه انجام می‌شود، بنابراین مراحل فنولوژیک سیب‌زمینی درخوزستان فقط شامل چهار مرحله رشد جوانه‌ها، رشد سبزینه‌ای، غده‌زایی و حجیم شدن غده می‌باشد. مواجه شدن گیاه با شرایط اقلیمی نامساعد ازقبیل پایین بودن دما در مرحله رشد جوانه‌ها و بالا رفتن دما از اواسط مرحله حجیم شدن غده ها که منجر به دریافت واحد حرارتی زیاد و غیر موثر خواهد شد، دلیل پایین بودن کارایی تاثیر دما و کارایی تاثیر واحد هلیو ترمال در کشت رمستانه سیب‌زمینی در استان خوزستان است. رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن‌ماه در مراحل فنولوژیک رشد و توسعه جوانه‌ها، رشد سبزینه‌ای و غده زایی با شرایط اقلیمی نسبتاً مساعد مواجه گردید. علاوه براین در هنگام شیوع بیماری لکه موجی، علی‌رغم مبارزه با این بیماری، گیاهان این تیمار در مقایسه با گیاهان رقم ساوالان در سه تاریخ کاشت دیگر جوان‌تر بودند و در نتیجه خسارت کمتری به رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن ماه وارد گردید. مجموع این عوامل سبب شد تا عملکرد رقم ساوالان در تاریخ کاشت اول بهمن ماه افزایش معنی‌داری نسبت به سه تاریخ کاشت موردمطالعه دیگر نشان دهد. بر اساس نتایج این پژوهش برای کشت زمستانه سیب زمینی در خوزستان کاشت رقم ساوالان در اوایل بهمن‌ماه توصیه می‌شود. تاریخ کاشت مناسب برای ارقام کوزیما و المرا سرتاسر دی‌ماه می‌باشد.

References

1. Amrawat, T., Solanki, N. S., Sharma, S. K., Jajoria, D. K., and Dotaniya. M. L. 2013. Phenology growth and yield of wheat relation to agro-meteorological indices under different sowing date. African Journal of Agricultural Research 8 (49): 6366-6374.
2. Anonymus. 2019. Agricultural statistics, first volume-horticultural and field crop, 2015-16. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Programing and Economic Deputy, Statistics and Information Technology Office. pp. 38. (in Persian).

3. Birch, P. R., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E. M., Hein, I., Jones, J. T., Prashar, A., Taylor, M. A., Torrance, L., and Toth, I. K. 2012. Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable? Food Security 4 (4): 477-508.
4. Brown, P. H. 2007. The Canon of Potato Science: 37. Stolonization, tuber induction and tuberization. Potato Research 50: 363-365.
5. Darabi, A. 2007. Effects of planting density and harvesting date on yield and yield components of some potato cultivars in Behbahan. Seed and Plant 23 (2): 233-244. (in Persian with English abstract).
6. Darabi, A. 2017. Study on the agro-meteorological indices at different phenological stages and growth analysis of new potato genotypes. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 18 (3): 271-286. (in Persian with English abstract).
7. Darabi, A. 2019. The investigation of planting season effect on yield and phenology of potato (*Solanum tuberosum* L.) culivars using thermal indices. Journal of Crop Production and Processing 9 (1): 65-77. (in Persian with English abstract).
8. Darabi, A., and Eftekhari, S. A. 2014. Investigation the phenology stages and some growth indices of three potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. The plant production Agronomy, Breeding and Horticulture (Scientific Journal of Agriculture) 37 (2): 51-67. (in Persian with English abstract).
9. Darabi, A., Omidvari, Sh., Shafiezargar, A. R., Rafie, M. R., and Javadzadeh, M. 2018. Impact of integrated management of nitrogen fertilizers on yield and nutritional quality of potato. Journal of Plant Nutrition 41 (19): 2482-2494.
10. Devi, S., Singh, M., and Aggarwal, R. K. 2019. Thermal requirements and heat use efficiency of pea cultivars under varying environments. Current World Environment 14 (3): 376-382.
11. Ewing, E. E., and Struik, P. C. 1992. Tuber formation in potato: induction, initiation and growth. Horticultural Reviews 14: 89-98.
12. Friedman, M. 1997. Chemistry, biochemistry and dietary role of potato polyphenols. A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45 (5): 1523-1540.
13. Grijesh, G. K., Kumara Swamy, A. S., Sridhara, S., Dinish Kumar, M., Vageesh, T. S., and Nataraju, S. P. 2011. Heat use efficiency and helio thermal units of maize genotypes as influenced by date of sowing under Southern transitional zone of Karanatak state. International Journal of Science and Nature 2 (3): 529-533.
14. Hassanpanah, D., Hossienzaded, A. A., and Allahyari, N. 2009. Evaluation of planting date effect on Savalan and Agria potato cultivars in Ardabil region. Journal of Food Agriculture and Environment 27 (3 and 4): 525- 528.
15. Jones, J. W., Hogenboom, G., Porter, C. H., Bootee, K. J., Batchlore, W. D., Haunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijman, A., and Ritchie, J. T. 2003. The DSSAT cropping system Model. European Journal of Agronomy 18: 235-265.
16. Kazemi, M., Hassanabadi, H., and Tavakoli, H. 2011. Potato production management. Nashr-e-Amozesh and Tarvij Keshavarzi. Tehran. (in Persian).
17. KleinKopf, G. E., Brandt, T. L., and Olsen, N. 2003. Physiology of tuber bulking. In: Proceedings of Idaho Potato Conference. Idaho**,** ID, 23-January. 4 p.
18. Kolasa, K. 1993. The potato and human nutrition. American Potato Journal 70 (5): 375-384.
19. Lambert, E. D. S., Pinoto, C. A. B. P., and Meneze, C. B. D. 2006. Potato improvement for tropical conditions: I. Analysis of stability. Crop Breeding and Applied Biotechnology 6: 129-135.
20. Levy, D., and Veilleux, R. E. 2007. Adaptation of potato to high temperature and salinity-a review. American Journal of Potato Research 84 (6): 486-506.
21. Loyla Rodríguez P., Danny Sanjuanelo C., Carlos Eduardo Ñústez L., and Patricia Moreno-Fonseca, L. 2016. Growth and phenology of three Andean potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under water stress. Agronomía Colombiana 34 (2): 141-154.
22. Maji, S., Bhowmick, M., Chakraborty, P., Jena, S., Dutta, S. K., Nath, R., Bandyopahyay, P., and Chakraborty, P. K. 2014. Impact of agro-meteorological on growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Eastern India. Journal of Crop and Weed 10 (2): 189-1193.
23. Malakouti, M. J., and Tehrani, M. M. 1999. The Role of micronutrients in increasing yield and quality of agricultural crops. Tarbiat Modarres University Publication. Tehran. (in Persain).
24. Mihovilovich, E., Carli, C., de Mendiburu, F., Hualla, V., and Bonierbale, M. 2009. Protocol tuber bulking maturity assessment of elite and advanced potato clones. International Potato Center. 18 pp.
25. Mote, B. M., Kumar, M., and Ban. Y. C. 2015. Agro-meteorological indices of rice cultivars under different environmental at Navsari (Gujrat), India. Plant Archives 15 (2): 913-917.
26. O'brien, P. J., Allen, E. J., and Firman, D. M. 1998. A review of some studies into tuber initiation in potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. Journal of Agricultural Science, Cambridge130: 251-270.
27. Parvizi, K., Souri, J., and Mahmoodi, R. 2011. Evaluation of cultivation date on yield and amount of tuber disorders of potato cultivars in Hamadan province. Journal of Horticultural Science 25 (1): 82-93. (in Persian with English abstract).

28. Rao, V. U. M., Singh, D., and Singh, R. 1999. Heat use efficiency of winter crop in Haryana. Journal of Agrometeorology 1 (2): 143-148.
29. Sharma, K. D., Mishra, S. R., Singh, A. K., Mishra A. N., Singh, G., Kumar, V., and Jaiswal, P. 2019. Studies on thermal use efficiency, helio thermal unit and photo thermal unit of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under varying crop growing environment. International Journal Chemical Studies 7 (4): 1967-1969.
30. Singh, M. P., Lallu, K. R., and Sign, N. B. 2014.Thermal requirement of Indian mustard (*Brassica juncea*) at different phonological stages under late sown condition. Indian Journal of Plant Physiology 19 (3): 238-243.
31. Sreeniavas, G., Devender Redady, M., and Raji Redady, D. 2010. Agro-meteorological indices in relation to phenology of aerobic rice. Journal of Agrometeorological 12 (2): 241-244.
32. Van Dam, J., Kooman P. L., and Strik, P. C. 2008. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). Potato Research 39 (1): 51-62.
33. Waglay, A., Karboune, S., and Alli, I. 2014. Potato protein isolates: recovery and characterization of their properties. Food Chemistry 142: 373-382
34. Worthington, C. M., and Hutchinson, C. M. 2005. Accumulated growing degree days as a model to determine key developmental stages and evaluate yield and quality of potato in Northeast Florida. In: Proceedings of the Florida State Horticultural Society 18: 98-101.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 323-339

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۳۹-۳۲۳

Effect of Planting Date on Agro-Meteorological Indices at Different Phenological Stages of Potato Cultivars

A. Darabi[1*], Sh. Omidvari[2]

Received: 06-04-2020
Accepted: 26-09-2020

Introduction

Growing degree days (GDD) and helio thermal units (HTU) are the temperature based agro-meteorological indices that play important role in predicting crop growth and yield. Growing degree days is based on the concept that the actual time to achieve a phenological stage is linearly related to base temperature (T_b) and optimum temperature. The efficiency of conversion of heat and radiation energy to dry matter depends on genetics factors and planting date. Heat summation units (HSU), that mainly called growing degree days, and its derivations such as helio thermal units are the most necessary to determine phenological stages and the suitable planting dates for cultivars of different crop. Growth of potato can be divided into five stages: sprout development, vegetative growth, tuber initiation, tuber bulking and maturation. There is little information concerning of growing degree days and helio thermal units for potato in the sub-tropics. This experiment was undertaken to define growing degree days and helio thermal units at phenological stages and effect on yield for potato cultivars established at different planting dates.

Materials and Methods

The research was conducted in the research farm of Behbahan Agriculture Research Station for two years (2015-2017). The experiment was arranged as a split-plot in a randomized complete block design with three replicates. Planting dates from 21 December to 20 January at a 10-day interval were the main plot and the Cozima, Savalan, and Elmera cultivars were considered as sub-plot. When the diameter of the swollen tip of stolon was twice as long as stolon diameter, considered as tuber initiation. Tubers were harvested in mid May. Growing degree days and helio thermal untis were calculated at all phenological stages and after harvest thermal use efficiency and helio thermal unit use efficiency. Results from experiments of 2 years were combined for analysis. Data were statistically analyzed by MSTAT-C. Significant differences among treatments means were determined at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple test range.

Results and Discussion

The longest of the sprout development stage was recorded for 21 Dec. planting date. With the postponement of planting date, due to increase temperature, duration of sprout development significantly shortened, and growing degree days and helio thermal unit decreased. The duration of vegetative stage was 15 days. Early exposure of plants to favorable climatic conditions for tuber initiation, short day and cool night temperature, caused the duration of vegetative growth, growing degree days and helio thermal unit were low. Tuber initiation is thought complete within 2-6 weeks of that event, but since the majority of the tubers are formed over a period of 15 days, duration of this stage is usually considered about 15 days. Although the duration of tuber initiation was equal in all planting dates, however there was significant difference between the amount of growing degree days and helio thermal unit in some treatment dates due to unsimultaneous timing of tuber initiation. The duration of tuber bulking, depend on planting date and cultivar, ranged from 38 to 44 percent days. Growing degree days and helio thermal units at tuber bulking stage were higher than previous stages, such as depend on planting date 61.52 to 66.27 percent of total growing degree days belong to tuber bulking stage. Maturation stage was not observed. There were no significant differences for yield and helio thermal unit use efficiency among all planting dates, however the highest thermal use efficiency was recorded in 20 Jan. planting date. The highest yield, thermal use efficiency and helio thermal units use efficiency belong to Savalan cultivar. Climatic conditions at sprout development, vegetative growth and tuber initiation stages were relatively more favorable for Savalan cultivar in 20 Jan. than other planting dates. Moreover, plants of Savalan cultivar in 20 Jan. planting date, during incidence of late blight in effect of less age were more tolerant as compares with other planting dates. Therefore, the yield of Savalan cultivar in 20 Jan. was significantly higher than other planting dates.

Conclusions

The duration of sprout development and vegetative stages are long and short respectively. In this experiment low temperature during sprout development and high temperature from mid tuber bulking stages caused the less tuber yield than temperate regions of the country. According to results, planting of Savalan cultivar in mid

1- Associate Professor, Seed and Plant Research Improvement Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahwaz, Iran
2- Assistant Professor, Water and Soil Research Institute, AREEO, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: darabi6872@yahoo.com)

January is recommended for winter potato production in Khuzestan province. Planting from mid December to mid January is recommended for Cozima and Elmera cultivars.

Keywords: Growth degree days, Helio thermal units, Sprout development, Tuber bulking, Yield